

## 網いけすの力学的特性

永松公明・西ノ首英之・中才啓

The Mechanical Characteristics of  
a Netting Store Pot

Kimiaki NAGAMATSU, Hideyuki NISHINOKUBI and Kei NAKASAI

The mechanical characteristics such as the deformation and resistance of a netting store pot which is immersed in streaming current were studied experimentally. In the course of experiment, the various shape of the netting store pot such as a square, octagonal and circular type were employed.

The deformation of the netting store pot was defined by measuring an oblique angle of the deformed netting against the current. The deformation by the current become large according to the order of the square, circular and octagonal type. It was found that the resistance of the square type agrees well with the Tauti's approximation.

The shape of a mesh also have an effect on the deformation, that is, the deformation of a rhomb mesh was larger than that of a square mesh. The experiment on effect of the variation of  $D/L$  of mesh to the deformation and resistance were carried out, and it was found that the variation have an effect considerably on the deformation and resistance in the range of less than 0.2 m/s of the current and they are not affected very much in the vicinity of 0.4 m/s.

Furthermore, the experiments of the linked netting store pots were carried out. It can be considered that there is no effect of the distance between two linked pots on the deformation and resistance in the range of less than 0.2 m/s of the current, and it is to be recommended that the distance between two pots is nearly equal to the width of the pot. And it was found that the larger number of linkage, the smaller the deformation and resistance of each one of linked pots.

網いけす養殖漁業は、築堤式、網仕切式養殖とは異なり、地形条件に制限されることも少なく、低設備費の点からも急速に普及している。近年、網いけすの施設数は、24,000面、総面積は830万平方メートルで、年生産量は15万トンに達する。漁場の中心は西日本で、特に瀬戸内海の沿岸湾内に多く見られる。

しかし、漁場では一般環境汚染に加えて投餌後の残滓や魚の排泄物の堆積などの汚染も進んでいる。従って、将来新漁場として湾外あるいは沖合への移転はさげられない。外海水域における魚類養殖は風浪、海潮流などの外力条件が内湾より厳しく、施設の維持管理が問題となる。

化学繊維網いけすについての研究例はほとんどなく、木村(1983)の物理的研究が見られるのみである。

本研究では、網いけす漁場の沖合化に対応する基礎研究として、愛媛県で使用されているハマチ当才魚用四角型網いけすを中心に、網型、付属具、連結間隔および連結台数の変化による網成りや抵抗などの流水中の力学的特性について検討した。

## 実験方法

**実験装置** 実験は農林水産省水産大学校漁具学教室の回流水槽（長さ35m，幅2.4m，深さ1.2m）を用いて行った。流速はCM-1SA型微流速計（東邦電探），張力は電気歪式張力計（共和電業）を用いて測定した。

**模型網** 模型網は，Fig.1およびTable1に示すような四角型，八角型および円型網いけすである。これらは田内の相似則に従い，次のように作成された，すなわち

a) 模型網の寸法 $\lambda'$ と実物網の寸法 $\lambda''$ との比 $\lambda'/\lambda''=0.05$ とした。

b) 模型網の目合 $L'$ と糸の直径 $D'$ と実物網のそれらとの比 $L'/L''=D'/D''=0.22$ とした。

c) 模型と実物の流速比 $V'/V''=0.469$ となる。

d) 浮力 $F$ および沈降力 $W$ の比は， $F'/F''=W'/W''=5.5\times 10^{-4}$ となる。

**流速** 養殖魚に必要な海水は，水面からの酸素溶入および魚類以外の酸素消費などの酸素収支を無視すると，最低 $15\ell/h$ である。従って流速を $0.05\sim 0.15\text{m/s}$ として充分であると考えられる。本実験では流

速を $0.05\sim 1.0\text{m/s}$ とした。

## 測定方法

1) 四角型，八角型および円型網いけすを流れに垂直に設置し，流速を $0.1\sim 1.0\text{m/s}$ の範囲で変化させたときの網成り（写真撮影）と抵抗値を測定した。

2) 四角型網いけすの網目（角目，菱目），糸の径 $D$ と目合い $L$ の比 $D/L$ および重錘重量を変化させたときの流速変化による網成りおよび抵抗を測定した。

3) 四角型網いけすを流れの方向に連結し，連結間隔，連結台数を変え，流速変化による連結最後部の網いけすの網成りおよび総抵抗値を測定した。

4) 攪拌流発生装置を用い，四角型網いけすの攪拌流変化による網成りを測定した。

## 結果および考察

### 1. 四角型，八角型および円型網いけすの網成りおよび抵抗変化

#### 1) 全体的な網成り変化

Fig.2は四角型，八角型および円型網いけすを流水中に設置したときの側面図を示す。同図より網型

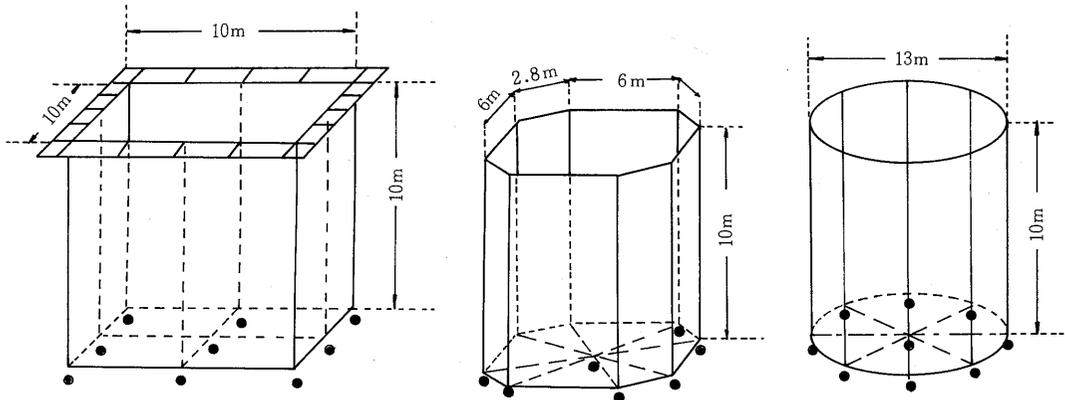


Fig. 1. Outline of a square, octagonal and circular type of the netting store pot.

Table 1. Specification of a square, octagonal and circular type of the netting store pot.

Type of net	Net	Size of net	Weight of lead	Weight of sinker	Weight of frame	Buoyancy of float
Square	Polyethylene 210d/81 $D=2.31\text{mm}$ $L=21.65\text{mm}$	$40.0\text{m}\times 10\text{m}$	16.2kg	$13.6\text{kg}\times 9$ 122.4kg	928.0kg	$270\text{kg}\times 16$ 4320kg
Octagon		$35.3\text{m}\times 10\text{m}$	14.3kg		810.3kg	$270\text{kg}\times 12$ 3240kg
Circle		$40.8\text{m}\times 10\text{m}$	16.2kg		939.1kg	$270\text{kg}\times 16$ 4320kg

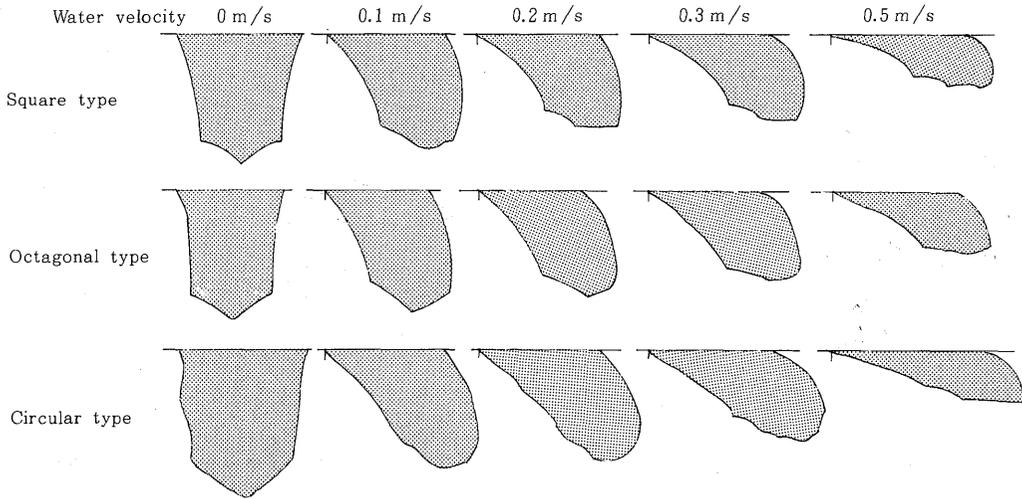


Fig. 2. Schematic side view of the netting store pot in the current.

に関係なく流速が0.5m/s以上になると網内容積は静水状態のおよそ半分以下となり、網いけすの機能を果たさなくなると考えられる。網型による比較については、円型網いけすは流速が0~0.4m/sの範囲で四角型および八角型に比べ網成りの崩れがやや大きい。

2) 網面の吹かれ変化

吹かれを数量化するために次の手法を用いた。すなわち、Fig. 3 に示すように、四角型については前面網下端中点(1)、底面網中点(2)、後面網下端中点(3)、前面網横縁下 endpoint(4) および後面網横縁下 endpoint(5) の5点、八角型および円型については、網いけす前端下 endpoint(1)、底面網中央点(2) および後端下 endpoint(3) の3点について、それぞれに対応する上端の点からの水平距離  $x_i$  および垂直距離  $y_i$  ( $i=1\sim5$ ) を計測した。つぎに、 $x_i$  および  $y_i$  より網面上端と下端を結ぶ線と垂線となす角  $\theta_i$  ( $\theta_i = \tan^{-1} x_i / y_i$ ) を求め、その  $\theta_i$  を吹かれ角度とした。また、網いけすは底面網に取付けられた重錘により、流水を受けていない状態でも変形している。そこで、静水状態でのそれぞれの点での垂線となす角度を  $\theta_{0i}$  とし、 $\theta_i - \theta_{0i}$  を吹かれ角度変化量とした。また、吹かれた網面は湾曲しており、Fig. 3 に示す  $d_i$  および  $c_i$  をそれぞれの点で計測し、その比  $d_i / c_i$  を湾曲度とした。

Fig. 4-1, 2 および 3 はそれぞれ四角型, 八角型および円型網いけすの吹かれ角度 ( $\theta$ ) および吹かれ角度変化量 ( $\theta - \theta_0$ ) と流速の関係を示す。また、図中の破線は湾曲度を示す。これらの図より、流速が

0.1~1.0m/sの範囲で点1, 4, 2, 3, 5の順で  $\theta$  の値は大きくなる。横縁部すなわち点1および5の  $\theta$  増加率はほぼ等しく、流速の約1.2乗に比例している。八角型および円型網についても、四角型と同様の  $\theta$  の増加を示している。すなわち、前面網、

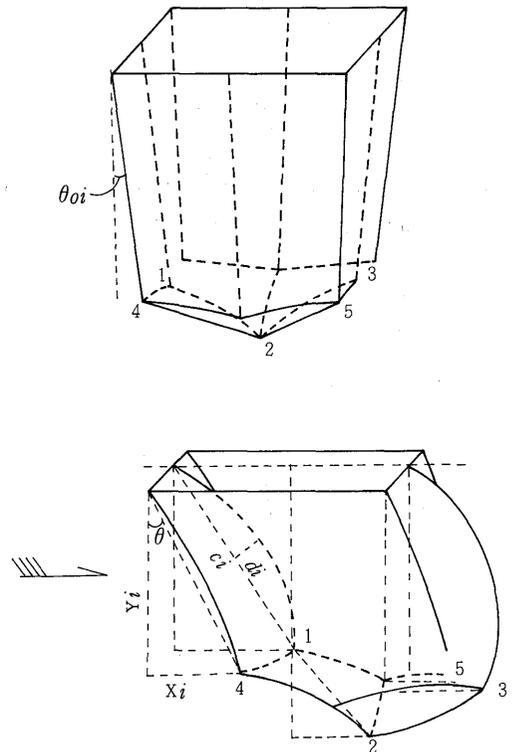


Fig. 3. Measured points of the deformed netting of the pot.

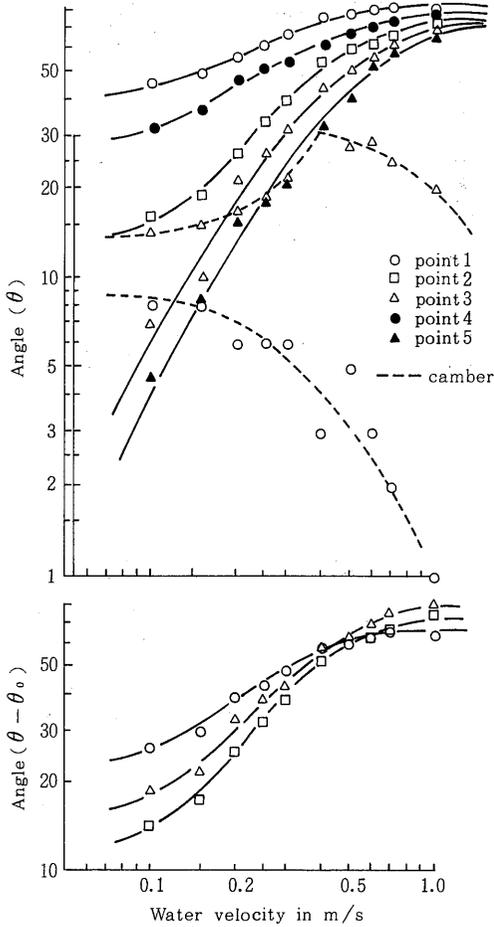


Fig. 4-1. Relation between the deformed angle(up) and water velocity, and relation between the change of the deformed angle(down) and water velocity of a square type of the pot.

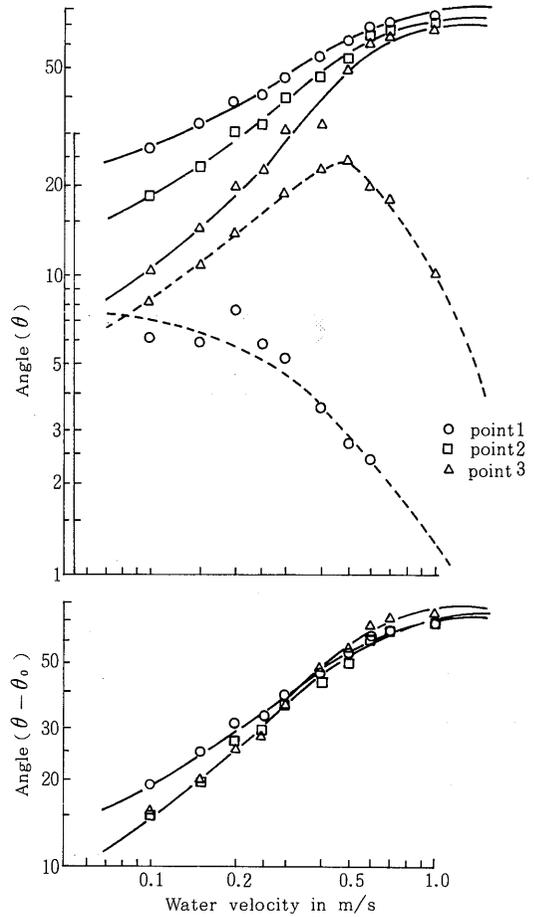


Fig. 4-2. Relation between the deformed angle(up) and water velocity, and relation between the change of the deformed angle(down) and water velocity of an octagonal type of the pot.

底面網中央点，後面網の順に流水の影響を受け変形しやすくなっている。

網面の湾曲度については、いずれの網型でも前面網の湾曲度は流速が0.4~0.5m/sをピークに流速の増加に伴ってわずかであるが増加する。しかし流速が更に速くなると減少している。また、後面網の湾曲度は流速が0.3m/s付近までほぼ一定であるが、それ以上になると減少する。

以上より、四角型網いけすでは、前面網および後面網とも網面縁部より中央部で流れの影響を受けやすく、吹かれ角度が大きくなる事がわかる。網型による比較は、流速が0.1~0.5m/sの範囲で、四角型、円型および八角型の順に吹かれ角度が大きくなっている。

### 3) 網内容積変化

静水時の網内容積は、Fig. 5-Aに示すように点1、4と点3、5の midpoint と、それに対応する上端の点を結ぶ四角形の部分の容積と、点2、4および5を結ぶ三角形の部分の容積との和で表わす。また、流れを受けて変形した場合の容積は、Fig. 5-Bの各点を下記の式に代入し算出した。すなわち

$$v = \frac{1}{12}(10+L) \left( 20 + x_3 - \frac{x_1 + x_4}{2} \right) \left( y_2 + y_3 + \frac{y_1 + y_4}{2} \right)$$

で、ここで  $v$  は変形時の容積である。

静水時の容積を  $v_0$  とし、各流速における容積  $v$  との比  $(v/v_0)$  の変化を Fig. 6 に示す。同図より、い

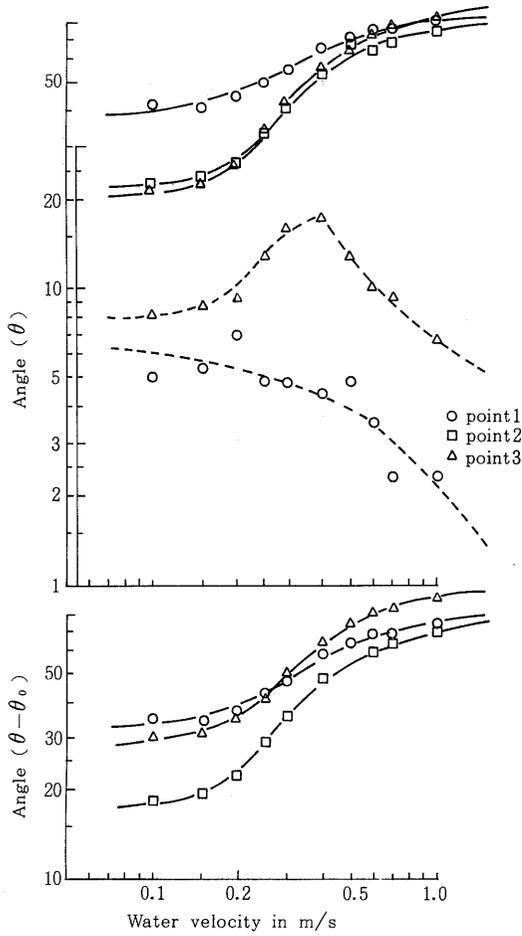


Fig. 4-3. Relation between the deformed angle(up) and water velocity, and relation between the change of the deformed angle(down) and water velocity of a circular type of the pot.

ずれの網型においても静水時の2/3~1/2になる流速はおよそ0.35~0.5m/sの範囲であることがわかる。また、この時の四角型網いけすの前面網の吹かれ角度変化量は約40°~50°である。 $v/v_0$ の値は流速が0~0.5m/sの範囲で徐々に減少するが、それ以上の流速では急激に減少する。

網型による比較では、流速が0.05~0.4m/sの範囲で、円型、八角型および四角型の順で $v/v_0$ の値は大きくなる。すなわち、円型網いけすが最も流れの影響を受けにくく変形が小さいことがわかる。

4) 流水抵抗変化

網いけすを設置する場合、いけすは土俵あるいは錨によって固定される。また、いけすを移動する場合は船で曳航される。従って網いけすの固定および

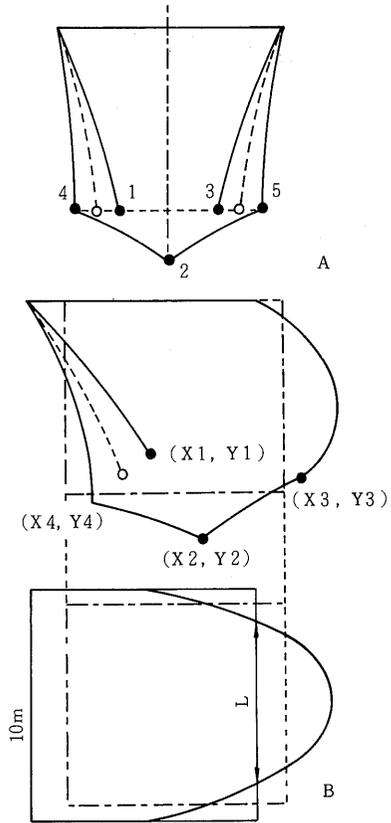


Fig. 5. Schematic view how to estimate the volume of the deformed pot.

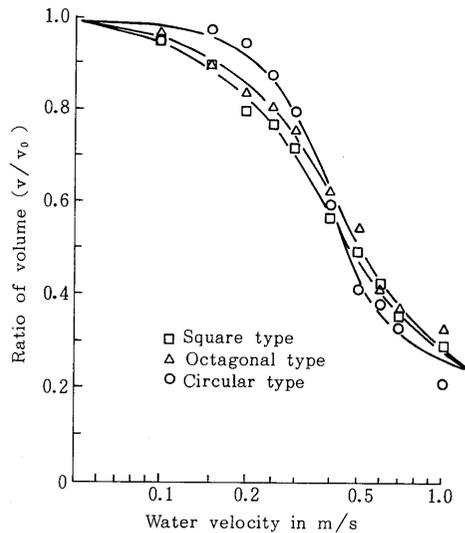


Fig. 6. Relation between the ratio of the changed volume of the various types of the pot and water velocity.

曳航に必要な力，すなわち，流れによる網いけすの抵抗を知る必要である。

Fig. 7 は，四角型，八角型および円型網いけすを流水中に設置し，流速が0.1~1.0m/sの範囲で流速を変化させたときの抵抗値の変化を示したものである。

同図より，いずれの網型の抵抗値も流速が0.2~0.9m/sの範囲で流速の約1乗に比例し，比例値はそれぞれ四角型で887.9，八角型で867.7および円型で991.7(kg)である。また，四角型と八角型網い

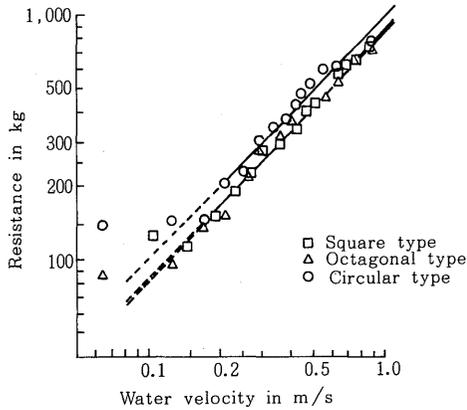


Fig. 7. Relation between the resistance of the various types of the pot and water velocity.

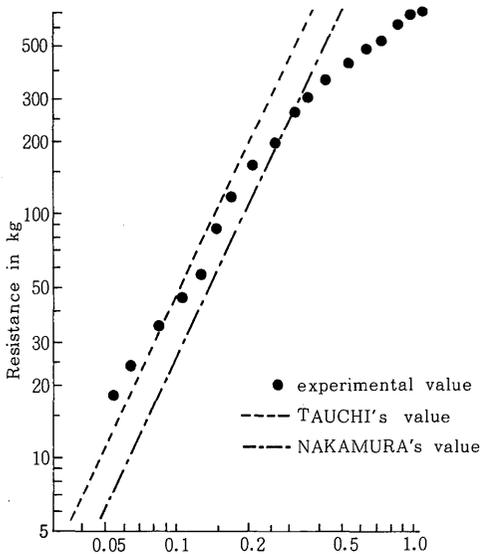


Fig. 8. Relation between the experimental and theoretical resistance of a square type of the pot and water velocity.

けすの抵抗はほぼ等しくなる。これは，両者の前面投影面積がほぼ等しいからである。

さらに，四角型網いけすについて次の知見を得た。すなわち，Fig. 8 は実験で得た抵抗と流速の関係および理論的に求めた抵抗と流速の関係を示したものである。図中，破線は田内，一点破線は中村の抵抗近似式より求めたものであり，流速が0.06~0.3m/sの範囲で実験による抵抗値と田内・中村の理論値はよく一致し，この流速範囲では四角型網いけすの抵抗は，田内ならびに中村の抵抗近似式によって表わしてもよいと言える。

## 2. 網地および付属具の違いによる網成りおよび抵抗変化

### 1) 網目の使用形態(角目，菱目)の違いによる網成り変化

Fig. 9 は，流速と吹かれ角度変化量との関係を示す。図中，実線は菱目網を点線は角目網の点1，2および3の角度変化量をそれぞれ示している。

同図より，流速が0.05~0.4m/sの範囲では，いずれの測定点においても菱目網が角目網より吹かれ角度の変化量が大きくなる。しかし，流速がそれ以上になると，菱目網の方が小さくなる。また，菱目網使用の場合，流速が0.2~0.5m/sの範囲で，点1，2，3の順に吹かれ角度変化量は大きくなる。すなわち，前面網，底面網中央点，後面網の順に流水の影響を受け変形が大きくなる。

Fig. 10 は，流速と網内容積比の関係を示したものであり，図中，実線は菱目網使用時，また，破線は角目網使用時を示している。

同図より，流速が0.1~0.4m/sの範囲で  $v/v_0$  の値は角目網使用の方が大きくなっている。これは，菱目使用の方が，底面網に取り付けた重錘の影響を

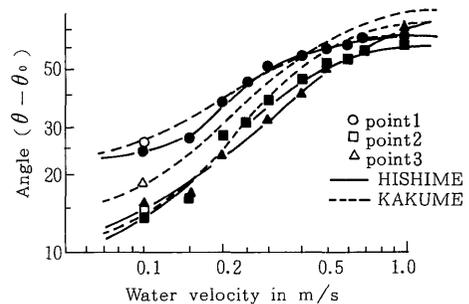


Fig. 9. Relation between the deformed angle of a square type of the pot and water velocity.

受けやすく、網地が部分的に余縮結3割以下となるためと考えられる。しかし、流速がそれ以上になると両者の差はなくなる。

2)  $D/L$  変化による網成り変化および抵抗変化

網いけすを使用する場合、養殖魚の成長に伴い目合の異った網地に交換される。本実験では、四角型網いけすの網地の目合  $L$  と網糸直径  $D$  との比  $D/L$  をそれぞれ、0.066, 0.107, 0.127 および 0.137 と変化させた場合の吹かれ角度変化量と抵抗変化を測定した。

Fig. 11 は、各測定点の  $D/L$  の変化による吹かれ角度変化量を流速別に示したものである。同図より、いずれの測定点および流速においても、 $D/L$  の増加に伴い吹かれ角度変化量は増加し、網内容積は減少することがわかる。また、吹かれ角度変化量の増加率は流速の増加によって低くなっている。

Fig. 12 は、 $D/L$  変化と抵抗変化の関係を流速別に示したものである。同図より、 $D/L$  の増加に伴う抵抗値の増加率は、 $D/L$  と吹かれ角度変化量の関係と同様に、流速の増加に伴って低くなっていることがわかる。また、 $D/L$  が 0.066~0.137 の範囲では、流速が 0.3m/s 以上になると抵抗値はほぼ一定になる。

以上より、網糸直径と目合の比  $D/L$  の変化は、流速が比較的小さいとき網成りおよび抵抗に対して大きな影響を与えるが、流速が速くなると、あまり

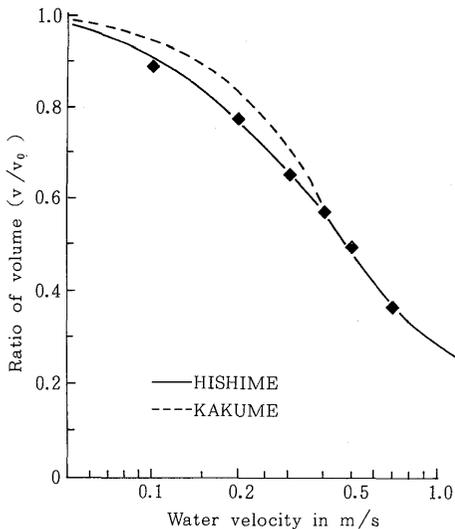


Fig. 10. Relation between the ratio of changed volume of a square type of the pot and water velocity.

影響を与えないことになる。

3) 重錘重量変化による網成り変化

流水による網いけすの変形をより小さくするために、また、網いけす各部にかかる重量を軽減するために、適正な重錘重量を求める必要がある。実験は、総重錘重量を 0, 30.6, 61.2, 122.4, 184.5 および 245.7kg と変化させて行われ、吹かれ角度変化量を測定した。Fig. 13 は各測定点における総重錘重量変化による吹かれ角度変化量を、流速別に示したものである。同図より、前面網の吹かれ角度変化量を約 50° に抑える、すなわち、網いけす内容積を静水時の 2/3~1/2 に維持するために必要な重錘の総重量は、流速が 0.2m/s 付近で 90~180kg であり、0.4m/s 付近では 180~300kg となる。

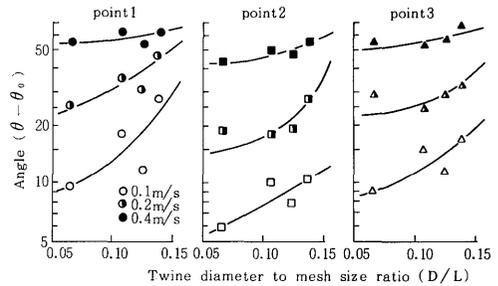


Fig. 11. Relation between the change of the deformed angle of a square type of the pot and  $D/L$ .

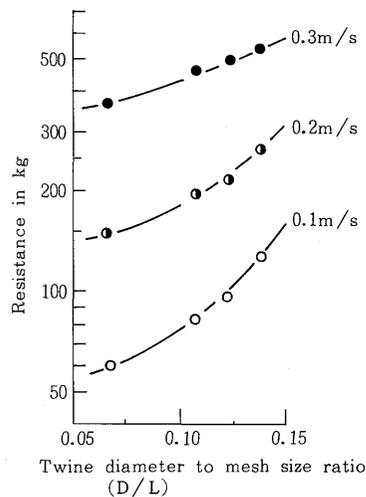


Fig. 12. Relation between the resistance of a square type of the pot and  $D/L$ .

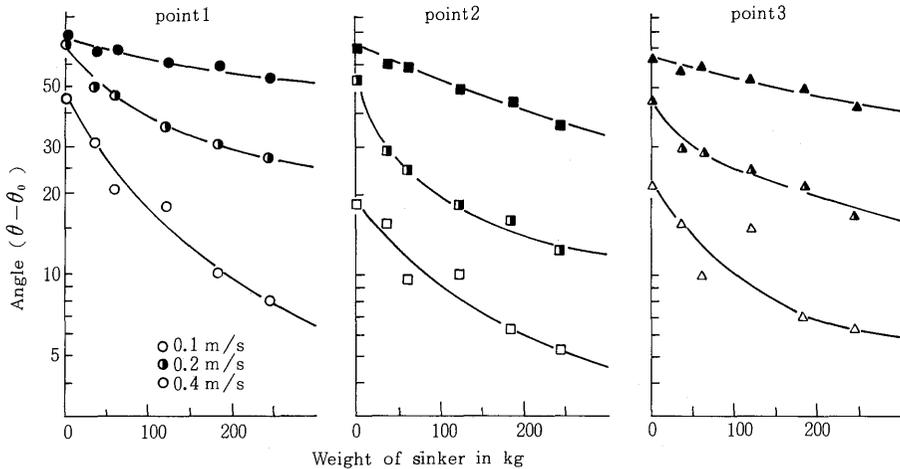


Fig. 13. Relation between the change of the deformed angle of a square type of the pot and the weight of sinker.

### 3. 連結網いけすの網成りおよび抵抗変化

1) 連結間隔変化による網成りおよび抵抗変化  
 四角型網いけすは、10～20台連結で設置される場合が多い。網いけすの変化および抵抗を最も小さくする連結間隔を知る必要がある。

Fig. 14 は、網いけすを2台連結した場合の連結間隔と後方の網いけすの吹かれ角度変化量の関係を流速別に示している。同図より、点1および3の吹かれ角度の変化はほぼ同じ傾向にあり、流速が0.1および0.2 m/s では間隔が0～10mの範囲で吹かれ角は増加するが、それ以上になるとほぼ一定となる。流速が0.4 m/s では間隔が0～10mの範囲で吹かれ角

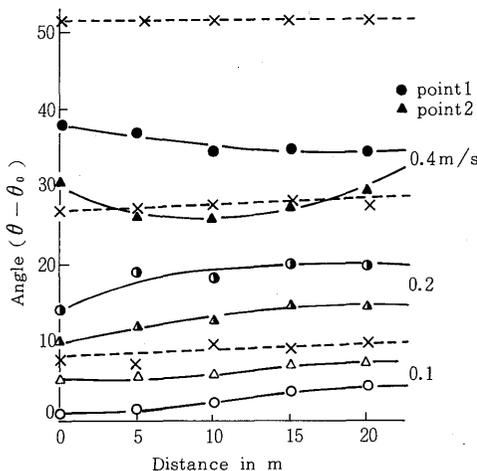


Fig. 14. Relation between the change of the deformed angle of a square type of the pot and the resistance of the linked pots.

は減少するが、それ以上になると増加していることがわかる。また、前方の網いけすの吹かれ角変化量（図中破線）は連結間隔に関係なくほぼ一定である。後方網いけすの吹かれ角が連結間隔10mを境に増減するのは、後方の網いけすが前方の網いけすによって生じた後流渦が作用する範囲に入っているからであると考えられる。連結間隔を20m以上にする、後方の網いけすは後流渦の影響を受けなくなる。

Fig. 15 は、連結間隔と抵抗の関係を流速別に示したものである。ここで、抵抗値は前方および後方網いけすの抵抗の和である。

同図より、いずれの流速においても連結間隔の増加に従って2台の抵抗値の和は、わずかに増加している。しかし、網いけすを単独に設置した場合の抵

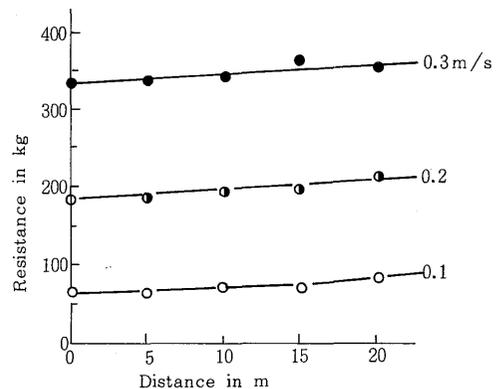


Fig. 15. Relation between the resistance of a square type of the pot and the distance of the linked pots.

抗値の2倍より小さい値になる。これは、間隔の増加に従って前方網いけすの後流渦の影響が減少したためである。

以上のことから、沿岸湾内で流速が0.2m/s以下の漁場では、連結間隔は後方網いけすの網成りに影響を与えないが、沖合の流速が0.4m/sの漁場では、間隔を網いけす一台分(10m)として設置すると網成りの変形が小さく理想的であると考えられる。

2) 網いけす連結による流れの抑制

網いけすを連結設置した場合、後方の網いけすは前方の網いけすの影響を受ける。四角型網いけすの前方と後方にそれぞれ流速計を設置し、一般流速 $V$ と後流速 $V_n$ を測定した。Fig. 16は、網いけすと後方流速計との間隔 $I_n$ と後流速 $V_n$ との関係を流速別に示したものである。同図より、流速 $V$ が0.1~0.2 m/sにおいて、 $I_n=0\sim10$  mの範囲で後流速は減少するが、10m以上になると増加する。 $V=0.3\sim0.4$  m/sにおいては、 $I_n=0\sim20$  mの範囲で後流速は減少し、20m以上で増加傾向である。これは、網いけすと後方流速計の間隔を大きくするにつれて後方流速計は網いけすによって発生した後流渦域から遠ざかり、同時に廻り込んできた一般流により後流速が増速されたためである。間隔をさらに大きくすると、一般流と後流速とは等しくなる。これらは、前項の網いけす連結間隔による網成りおよび抵抗変化の考察と一致する。

3) 連結台数による網成りおよび抵抗変化

Fig. 17は、連結された最後方の網いけすの吹かれ角度変化量と台数の関係を流速別に示したものである。同図より、いずれの流速においても網いけすは後方に行く程吹かれ角度変化量は減少し、網内容積の

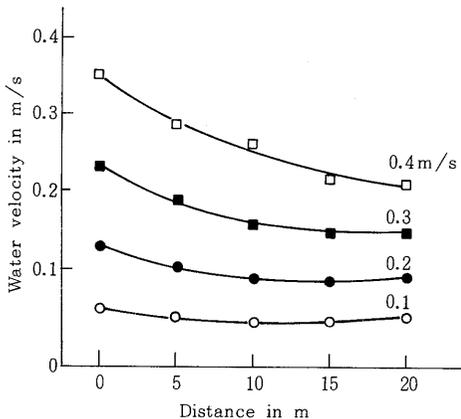


Fig. 16. Relation between water velocity in the wake and the distance of the linked pots.

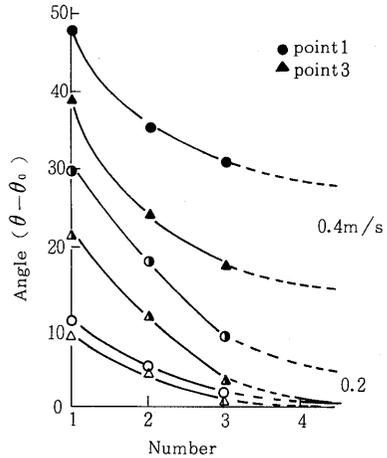


Fig. 17. Relation between the change of the deformed angle of a square type of the pot which is situated in the rearest position of the linked pots and the linked number of the pot.

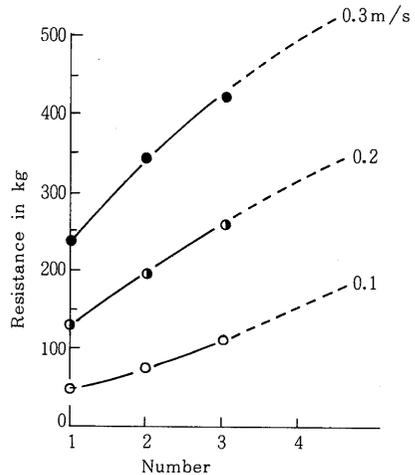


Fig. 18. Relation between the total resistance of the linked square type pots and the linked number of the pot.

減少率は小さくなるのがわかる。例えば、流速が0.4m/sにおける3台目の網いけすの吹かれ角度変化量が、流速が0.2m/sの1台目の吹かれ角度変化量と等しくなっている。

最前方の網いけすは、連結台数に関係なく単独設置と同様に変形する。従って、網いけすを連結設置する場合には、前方の網いけすの網地の $D/L$ を小さくする等で前方で流れを抑制すると、後方網の変形を小さく抑えることができる。

Fig. 18は、連結台数と連結された網いけすの全抵

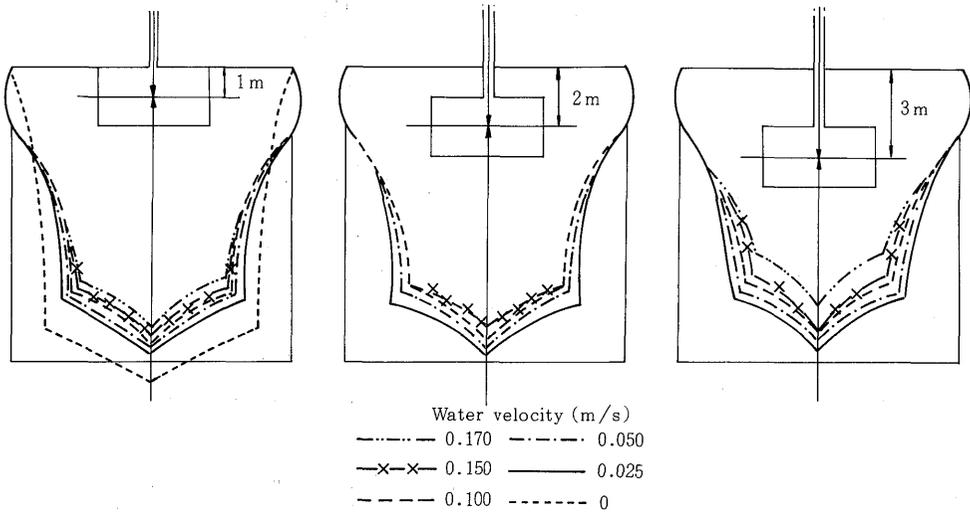


Fig. 19. Schematic view of the deformation of the pot by the stirred current.

抗の関係を流速別に示したものである。同図より、いずれの流速においても、台数の増加に従って全抵抗は増加するが、網いけす一台分当たりの抵抗は減少する。つまり、可能な限り多く連結すれば網いけす一台分当たりの固定分は小さくてすむことになる。

#### 4) 攪拌流による網成り

ハマチ等の養殖魚は、網いけす内で円運動回遊している。そこで攪拌流発生装置によって魚の円運動による水の動きを再現し、そのときの網成りを測定した。

Fig. 19 は、攪拌流発生装置の水車を網いけすの中心部に、水深を1, 2および3mで設置し、網いけす外縁から1m離れた点で流水速度が0, 0.025, 0.05, 0.1, 0.15および0.17m/sとなるように水車の回転を変えた場合の網成りを示している。同図より、水車の水深にある網地は網いけすの外側へ押し出され、それ以下の水深の網地は中心に向かって引き寄せられていることがわかる。また、底面網も上に向かって引き上げられている。この傾向は水車の回転が速いほど、また、水車の水深が深いほど強くなっている。これらのことから、網いけす内の水の動きは、Fig. 20 に示すようになると推定される。

終わりに、本研究に用いた実験装置および測定装置の使用に便宜を戴いた水産大学校谷口武夫教授にお礼申し上げる。

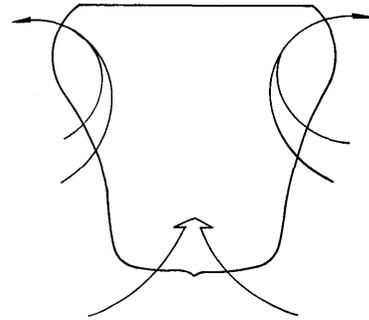


Fig. 20. Estimated flows through the netting by the stirred current.

## 文 献

- 井上実, 魚の行動と漁法, 恒星社厚生閣, 東京, 1978, 149~167
- 川上太左英, 漁業解析入門, 恒星社厚生閣, 東京, 1981, 7~31
- 木村晴保, 小割生簀の構造と得失①, 水産の研究2, 水交社, 東京, 1983, 61~64
- 木村晴保, 小割生簀の構造と得失②, 水産の研究3, 水交社, 東京, 1983, 67~70
- 中村充, 網施設, 沿岸漁場整備開発事業構造物設計指針, 日本水産資源保護協会, 1978, 123~133
- 本多勝司, 漁具材料, 恒星社厚生閣, 東京, 1981, 35~58
- 山口正男, タイ養殖の基礎と実際, 恒星社厚生閣, 東京, 1978, 247~366